

Edición especial
XXII
Reunión
Latinoamericana
del MAÍZ

Artículo/Article
Sección/Section B
11 (17), 72 – 83

Variación en la absorción de macronutrientes en híbridos de maíz duro
Absorción de nutrientes en maíz

Manuel Carrillo Zenteno [1,2*], Wuellins Durango Cabanilla[2,3], Jessica Cargua Chávez[2], Betty Rivadeneira Moreira[2], Fátima Morales Intriago[4].

[1] Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE) Sede Santo Domingo, Ecuador.
[2]Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP), Mocache, Ecuador.
[3] Becario en período de compensación de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT), Ecuador.
[4] Universidad Técnica Estatal de Babahoyo, Extensión Quevedo, Ecuador.
Autor para correspondencia / Corresponding author, email: manuel.carrillo@iniap.gob.ec

Variation in the absorption of macronutrients in corn hybrids

Abstract
The cultivation of corn is important worldwide because it is a cereal that is part of the basic family basket, as well as being an important input for the animal feed industry. The soils destined to the crop vary in their conditions of fertility, like the new genetic materials in their nutritional requirements. For the above mentioned, in the Pichilingue Tropical Experimental Station (EETP) of the National Institute of Agricultural Research (INIAP), this research was carried out with the objective of knowing the nutritional needs of four promising flint maize hybrids, under three levels of fertilization. Plots were installed following a randomized complete block design in split plots with three replications, and the means were compared using the Tukey test ($p < 0.05$). The production of dry matter, concentration, and nutrient content in aerial tissues of the plant was evaluated, each 10 days from the date of sowing until physiological maturity (110 days). The results obtained during 2016 showed that the extraction of N, K, Mg increased from 30 days after sowing (DDS) to 100 DDS. For P, the highest extraction was later, increasing from 50 DDS; as for the S, the largest extractions occurred between 50 DDS and 70 DDS. The results showed the variability in the extraction of nutrients presented by maize hybrids.

Key words: Absorption curve, Requirement of nutrients.



Editado por / Edited by:
Gabriela Albán

Recibido / Received:
2018/02/04

Aceptado / Accepted:
2018/11/09

Publicado en línea / Published online:
2019/05/20

Resumen
El cultivo de maíz duro tiene importancia a nivel mundial por ser un cereal que forma parte de la canasta básica familiar, además de ser un insumo importante para la industria alimenticia de animales. Los suelos destinados al cultivo varían en sus condiciones de fertilidad, al igual que los nuevos materiales genéticos en sus requerimientos nutricionales.

Por lo antes indicado, en la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) se realizó una investigación con el objetivo de conocer las necesidades nutricionales de cuatro híbridos promisorios de maíz duro, bajo tres niveles de fertilización. Las parcelas fueron sembradas en época lluviosa y época seca, siguiendo un diseño de bloques completos al azar en parcelas divididas con tres repeticiones. Las medias de cada tratamiento se compararon mediante la prueba de Tukey ($p<0.05$). El ensayo evaluó la producción de materia seca, concentración y contenido de nutrientes en tejidos aéreos de la planta, con frecuencia de 10 días a partir de la fecha de siembra hasta la madurez fisiológica (110 días). Los resultados obtenidos mostraron que la extracción de N, K, y Mg se incrementaron a partir de los 30 días después de la siembra (DDS) hasta los 100 DDS. Para P la mayor extracción fue tardía incrementándose a partir de los 50 DDS; en cuanto al S, las mayores extracciones sucedieron entre 50 DDS y 70 DDS. Los resultados encontrados reflejan la variabilidad en la extracción de los nutrientes presentada por los materiales promisorios de maíz.

Palabras clave: Curva de absorción, Requerimientos nutricionales.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz duro tiene importancia mundial por ser un cereal que forma parte de la canasta básica familiar, además de ser un insumo importante para la industria alimenticia de animales. En el Ecuador para el 2016 se tuvieron 341254 ha sembradas y se cosecharon 306095 ha de este cereal, en las provincias de Los Ríos, Manabí, Guayas y el resto de provincias, lo que correspondió al 40.07%, 29.41%, 12.33% y 18.20%, respectivamente [1].

Los suelos destinados al cultivo varían en sus condiciones de fertilidad, donde los nutrientes disponibles generalmente limitan su rendimiento, siendo que para obtener cosechas de 5 t ha^{-1} de grano de maíz de zona tropical, se requiere 170.0 kg ha^{-1} de N; 68.7 kg ha^{-1} de P_2O_5; 72.6 kg ha^{-1} de K_2O; 32.2 kg ha^{-1} de CaO; 41.5 kg ha^{-1} de MgO y 60.0 kg ha^{-1} de SO_4 [2].

El comportamiento de las curvas de absorción de nutrientes son herramientas básicas que ayudan a determinar las épocas de mayor demanda de nutrientes de los cultivos durante su ciclo de crecimiento; permitiendo definir las épocas de aplicación de los fertilizantes, que generalmente deberá ocurrir un par de semanas antes del pico de alto requerimiento de nutrientes, para maximizar la eficiencia de uso de fertilizantes [3, 4].

En la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), desde el 2011 se están evaluando híbridos promisorios de maíz, próximos a ser liberados al sector agrícola, siendo necesario conocer sus requerimientos nutricionales según su potencial de rendimiento y la oferta de la fertilidad de los suelos y determinar las necesidades de fertilización [5].

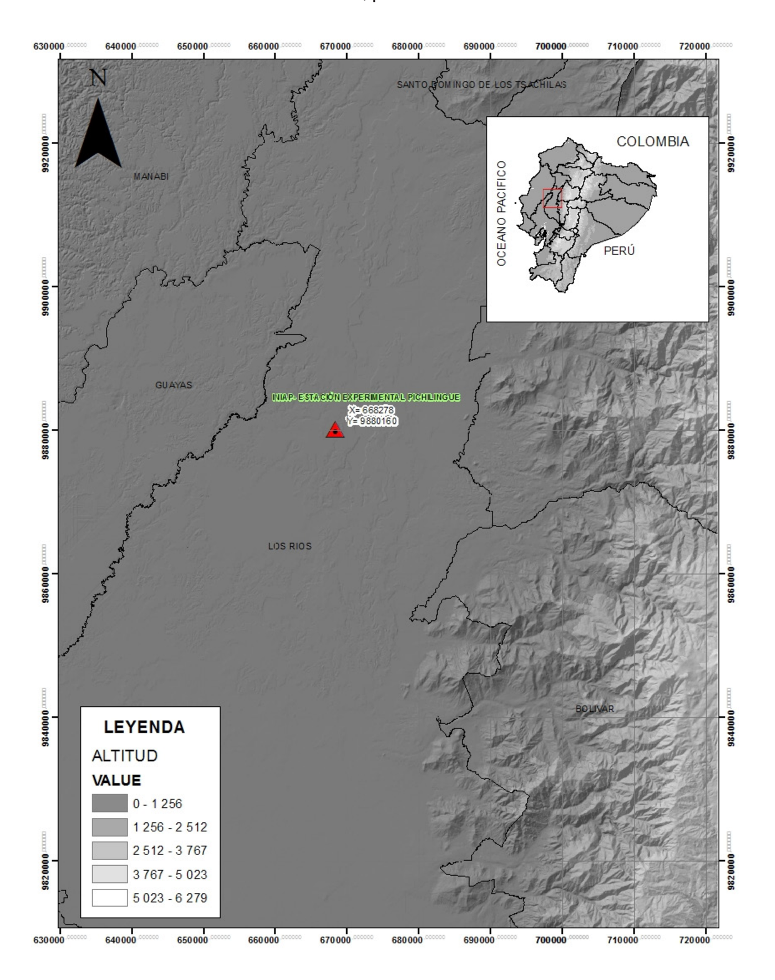


La presente investigación se realizó con el objetivo de determinar las variaciones en la absorción de nutrientes de cuatro híbridos promisorios de maíz, en sus diferentes etapas de crecimiento, en la zona central del Litoral ecuatoriano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo se realizó durante el año 2016, en el lote Estación Meteorológica de la EETP, sector Nuevo Pichilingue, a 74 msnm, con una temperatura media anual de 25.4 ºC; humedad relativa de 83.5%; precipitación anual de 2063 mm; heliofanía de 963.7 horas luz anual [6]. Los análisis de tejidos vegetales se realizaron en el Laboratorio de Suelos, Tejidos Vegetales y Aguas del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la EETP del INIAP, ubicada en la provincia de Los Ríos, cantón Mocache, km 5 vía Quevedo-El Empalme (Figura 1).

FIGURA 1. Mapa de localización del sitio experimental, en la Estación Experimental Tropical Pichilingue, cantón Mocache, provincia de Los Ríos.



Se estudiaron dos factores, el factor A que correspondió a los niveles de fertilización (testigo, NPK y fertilización completa), siendo que la fertilización con NPK, fue simulando a la utilizada por los pequeños productores 101 kg ha^{-1} de N; 46 kg ha^{-1} de P_2O_5 y 30 kg ha^{-1} de K_2O. La fertilización completa con 180 kg ha^{-1} de N; 46 kg ha de P_2O_5; 63 kg ha^{-1} de K_2O; 34 kg ha^{-1} de MgO; 44 kg ha^{-1} de SO_4; 1.5 kg ha^{-1} de B; 4.0 kg ha^{-1} de Zn; 2.5 kg ha^{-1} de Mn y 1.0 kg ha^{-1} de Cu. El factor B correspondió a cuatro híbridos promisorios de maíz (L-21-3-1-1-COM-2 X CML-172; L-8-2-1-1-COM-1 X CML-173; L-30-2-1-1-COM-1 X CML-174; L-58-1-3-1-COM-2 X CML-175) desarrollados por el programa de mejoramiento genético de maíz de la EETP, entre líneas nacionales e introducidas desde el CIMMYT.

Las unidades experimentales estuvieron distribuidas siguiendo un diseño de bloques completos al azar con parcelas divididas, donde las parcelas grandes fueron los niveles de fertilización y las pequeñas los híbridos promisorios con tres repeticiones. Los promedios de cada tratamiento fueron comparados mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete informático InfoStat [7].

Las siembras se efectuaron de forma manual con espeque en enero 12 (época lluviosa que tuvo 1989.6 mm de precipitación) y junio 23 del 2016 (época seca, con 42.1 mm de precipitación), dejando una planta por sitio a una distancia de 0.80 m y 0.20 m entre surcos y plantas, respectivamente (62500 pl. ha^{-1}). El P_2O_5; SO_4; MgO y micronutrientes fueron aplicados todo a la siembra; el K_2O en dos aplicaciones 50% a la siembra y 50% los 25 días después de la siembra (DDS); el N fraccionado 50% a los 15 DDS y 50% a los30 DDS.

Determinación de la curva de absorción de nutrientes

Para la determinación de las curvas de absorción, se colectaron 10 plantas por parcela hasta los 20 DDS y en adelante dos plantas (parte aérea), cada 10 días, contados a partir de la fecha de siembra. Estas fueron lavadas con agua destilada, seguidamente secadas a 70 °C en estufa con circulación forzada de aire, durante 72 horas (peso constante), donde se registró el peso seco de las plantas (materia seca).

En esta materia seca, se determinó el contenido de N por digestión sulfúrica, según el método Kjeldahl y lectura por titulometría. El P, K, Mg, S, extraídos con mineralización nítrico-perclórica, modificado en la relación 5:1 [8], donde el P, S y B fueron determinados por turbidimetría en fotocolorímetro marca Cole Parmer 1100 Spectrophotometer; el K y Mg, en espectrofotómetro de absorción atómica marca Shimadzu AA-6800; los resultados se expresaron en dag kg^{-1}.

Se determinó la absorción de cada nutriente utilizando los datos de materia seca (kg ha^{-1}) y las concentraciones de nutrientes (X) presentes en los tejidos, mediante la ecuación (1):

$$\text{Absorción de (X)} = \frac{P \times C}{100}$$

Donde P es el peso de materia seca en kg ha^{-1} y C es la concentración de nutriente X en dag kg^{-1}. Los incrementos en la absorción de nutrientes, se calcularon por diferencia entre el contenido del elemento obtenido en cada evaluación, con la inmediata anterior y fueron expresados en dag kg^{-1}.

11 (17), 72 – 83



RESULTADOS

En las Figuras 2. A-B se presentan las curvas de absorción y el incremento de N, obtenidas de los cuatro híbridos promisorios de maíz, donde se observan comportamientos similares en época lluviosa (A) y seca (B), habiendo incremento de la extracción a partir de los 30 DDS hasta los 100 DDS, siendo necesario aproximadamente 180 kg ha^{-1} de N y 140 kg ha^{-1} de N, respectivamente.

FIGURA 2A. Acumulación total (kg ha^{-1}) e incremento de absorción de N (dag kg^{-1}) en la época lluviosa (A) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.

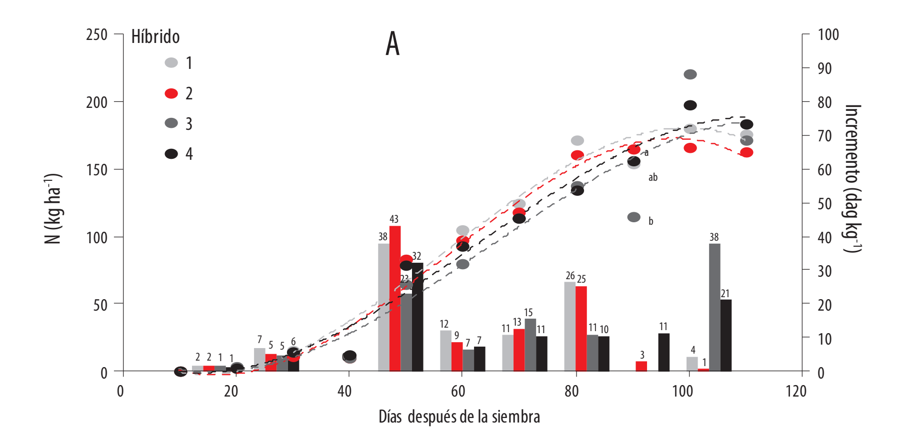
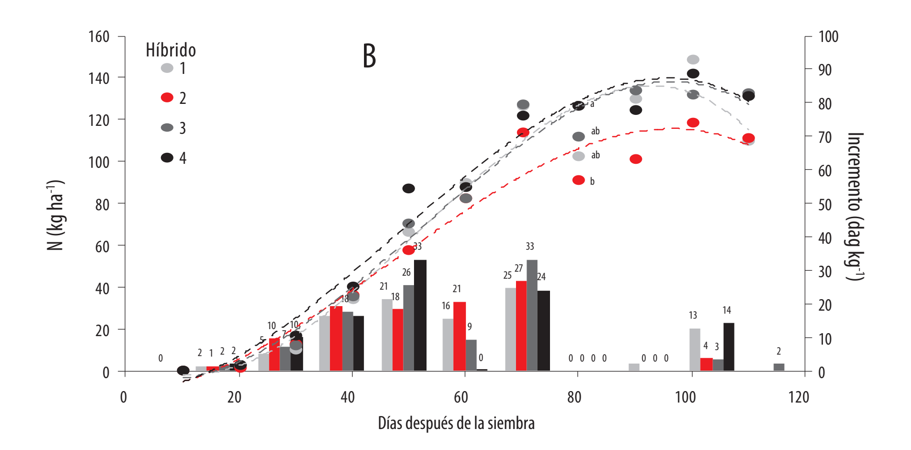


FIGURA 2B. Acumulación total (kg ha^{-1}) e incremento de absorción de N (dag kg^{-1}) en la época seca (B) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.



La acumulación de P se observó hasta la cosecha (110 DDS), donde la inclinación de las curvas indican mayor extracción a partir de los 50 DDS y después de los 80 DDS en la época lluviosa (A), habiendo en general mayor absorción a partir de la floración (60 DDS) Figura 3. A-B. Para la época seca (B), la mayor extracción se tuvo a partir de los 40 DDS, con incrementos constantes de aproximadamente 15 dag kg^{-1} hasta la cosecha.

FIGURA 3A. Acumulación total (kg ha^{-1}) e incremento de absorción de P (dag kg^{-1}) en la época lluviosa (A) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.

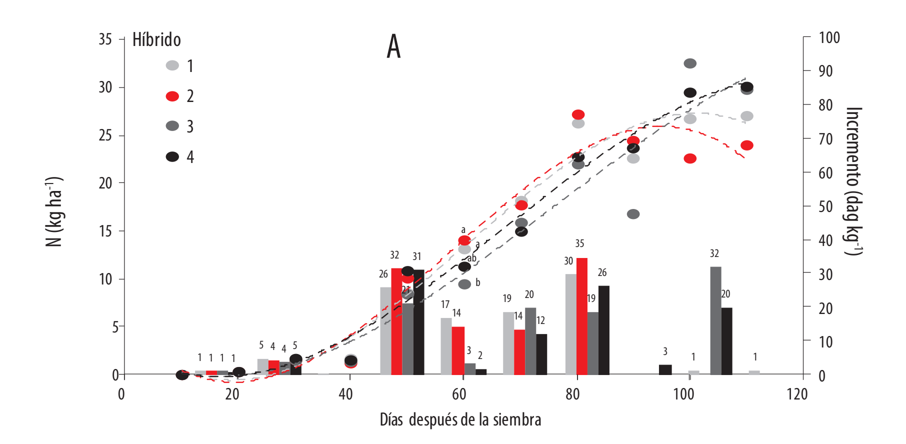
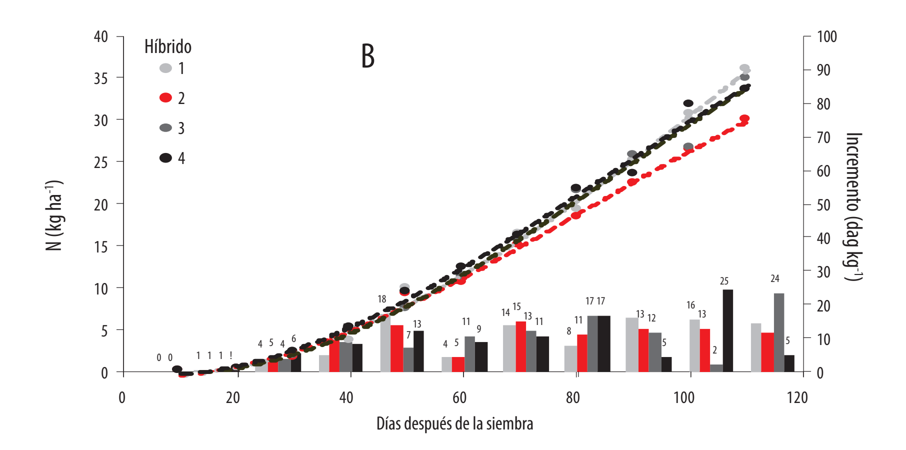


FIGURA 3B. Acumulación total (kg ha^{-1}) e incremento de absorción de P (dag kg^{-1}) en la época seca (B) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.





En las Figuras 4. A-B se observa que la absorción de K en la época lluviosa (A), fue mayor en las primeras etapas de desarrollo, concentrándose su mayor necesidad a los 50 DDS, reduciéndose sustancialmente después de los 60 DDS. Para la época seca (B), se observó mayor absorción a partir de los 30 DDS hasta los 50 DDS, luego de lo cual disminuye.

FIGURA 4A. Acumulación total (kg ha^{-1}) e incremento de absorción de K (dag kg^{-1}) en la época lluviosa (A) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.

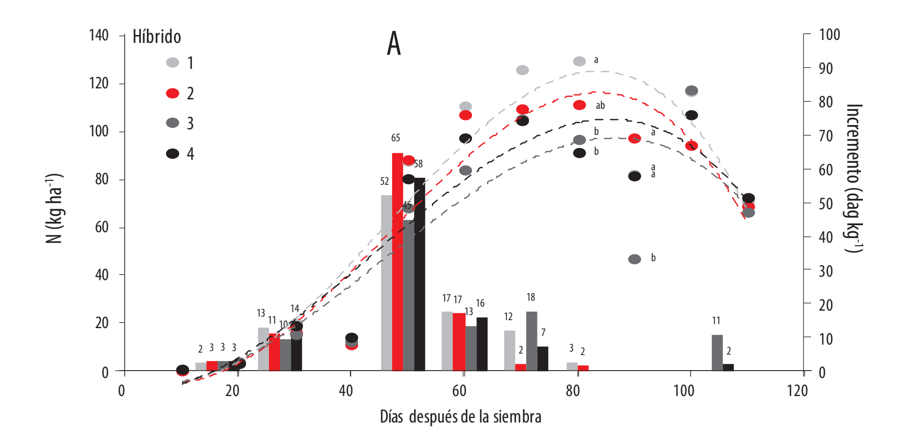
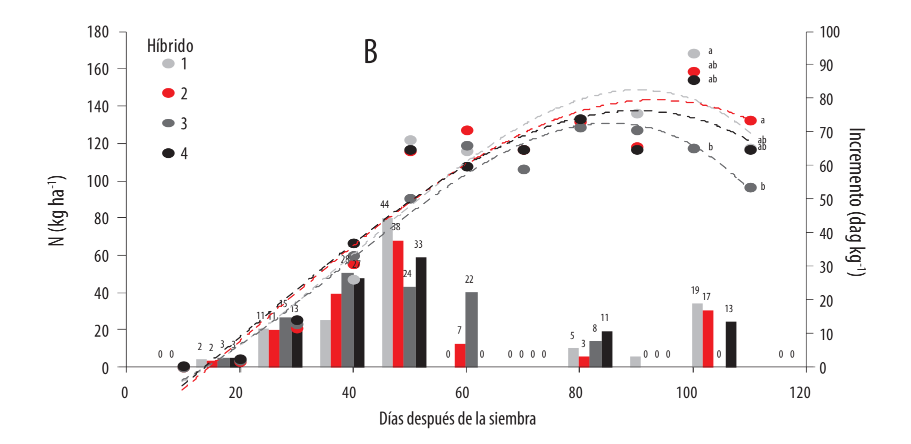


FIGURA 4B. Acumulación total (kg ha^{-1}) e incremento de absorción de K (dag kg^{-1}) en la época seca (B) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.



Para el Mg, su máxima absorción (alrededor de 32 kg ha-1) en la época lluviosa (A) se registró hasta los 90 DDS, reduciéndose posteriormente hasta la cosecha Figuras 5. A-B. A los 60 DDS se observó el mayor pico de absorción. En la época seca (B) este comportamiento varió determinando incrementos de absorción constante entre los 40 DDS hasta los 100 DDS, con el mayor pico de absorción a los 80 DDS.

La absorción de S ocurrió hasta los 70 DDS Figuras 6. A-B, teniendo las mayores absorciones entre los 50 DDS y 60 DDS en la época lluviosa (A). Para la época seca (B), existió absorción hasta la cosecha 110 DDS, teniendo las mayores entre los 30 DDS y 60 DDS.

FIGURA 5A. Acumulación total (kg ha^{-1}) e incremento de absorción de Mg (dag kg^{-1}) en la época lluviosa (A) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.

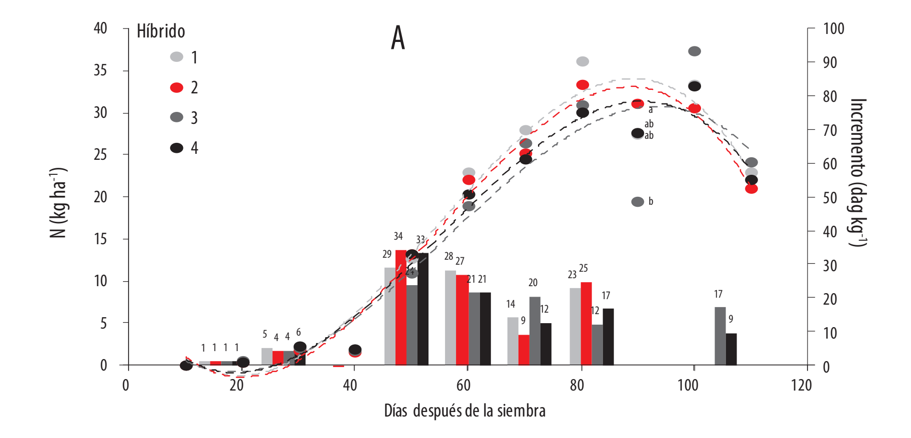


FIGURA 5B. Acumulación total (kg ha^{-1}) e incremento de absorción de Mg (dag kg^{-1}) en la época seca (B) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.

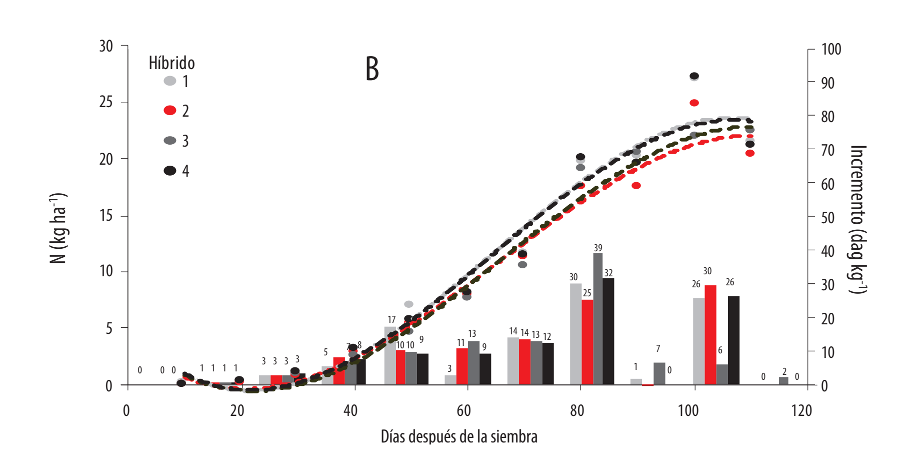




FIGURA 6A. Acumulación total (kg ha^{-1}) e incremento de absorción de S (dag kg^{-1}) en la época lluviosa (A) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.

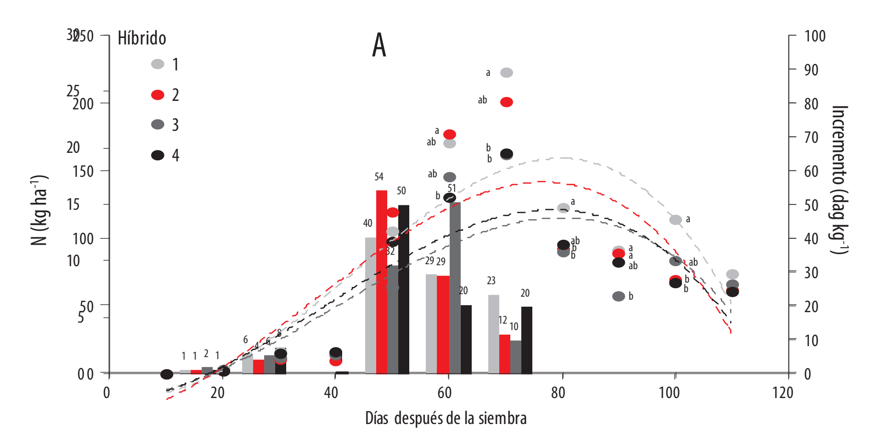
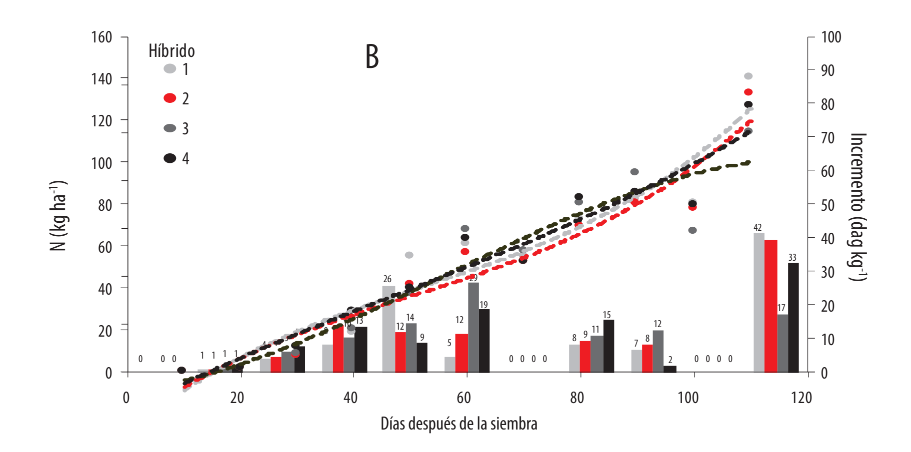


FIGURA 6B. Acumulación total (kg ha^{-1}) e incremento de absorción de S (dag kg^{-1}) en la época seca (B) del 2016, en cuatro híbridos promisorios de maíz, en función de la edad.



DISCUSIÓN

Analizando las formas de las curvas de absorción de N, entre las edades de 30 DDS a 50 DDS (cercano a la floración que fue a los 60 DDS), se observó mayor grado de inclinación Figuras 2. A-B, indicando mayor requerimiento de N disponible para su absorción durante esta etapa fenológica. Esta dinámica se relaciona con el período de

alta demanda de N (51 DDS hasta los 100 DDS) indicada para el híbrido de maíz de ciclo vegetativo tardío H-358, cuya floración se presentó a los 97 DDS [4].

Hasta la etapa de floración cerca del 50% del N fue absorbido, lo que coincide con lo reportado en anterior trabajo en el país, cuyos autores encontraron también 50% de absorción de éste elemento hasta la floración en otro híbrido promisorio de maíz [9]; por otro lado, en la literatura se encuentra que con el híbrido de maíz HC-57, a esta etapa fenológica del cultivo, había absorbido el 80% de N total requerido en el ciclo, siendo mayormente acumulado en la parte foliar; también en el híbrido de maíz PB-S, fertilizado con dosis crecientes de N, la proporción de la absorción de éste elemento varió del 70% de N a los 45 DDS a 96% de N a los 60 DDS [10, 11].

El patrón de acumulación de P Figura 3. A-B, guarda relación con el reportado con híbridos de maíz transgénicos que después de la floración absorben alrededor de 50% de éste elemento [12]. Este comportamiento de absorción tardía de P después de la floración (60 DDS), podría deberse a que el P acumulado en el follaje, no abastece con la totalidad de requerimiento del elemento para la formación de la mazorca y llenado de grano, por lo que continúa con la absorción en forma directa del suelo [4, 10], siendo que las necesidades de éstos híbridos evaluados, variaron entre los 30 kg ha^{-1} de P y 35 kg ha^{-1} de P, en las dos épocas de siembra.

El comportamiento del K Figura 4. A-B, indica que la mayor absorción ocurrió previo a la floración, concordando con trabajos anteriores [4, 9, 10, 12, 13], donde se menciona que esto es debido a la re-translocación del elemento, desde el follaje hacia la mazorca para el llenado de los granos; siendo que los requerimientos para éste elemento, en estos híbridos fueron de 100 kg ha^{-1} de K, en época lluviosa y 120 kg ha^{-1} de K en época seca.

El comportamiento en la absorción de Mg, parece no depender de una etapa fenológica específica, ya que éste elemento se absorbe de manera constante aún en etapa reproductiva de formación de mazorca y llenado de grano [10, 15]. La necesidad de Mg, en estos materiales se encuentra alrededor de 30 kg ha^{-1} de Mg y 22 kg ha^{-1} de Mg, en época lluviosa y seca, en su orden. Los valores de acumulación de Mg reportados Figura 5. A-B, tienen una tendencia similar a la observada en híbridos de maíz tropicales introducidos a climas templados, estableciendo que la máxima absorción de este elemento varió entre 75 DDS a 90 DDS [14].

Las necesidades de S fueron de 15 kg ha^{-1} de S y 10 kg ha^{-1} de S, en época lluviosa y seca, respectivamente; siendo que en las dos épocas, éste elemento fue absorbido en mayor porcentaje hasta la floración del maíz (60 DDS), resultando diferente con lo reportado por otros autores [9, 10, 12, 16], quienes mencionan que más del 40% de S, se absorbe después de la floración. Sin embargo, para otros materiales como los híbridos de maíz GNZ 2004 y P 30 F33, se encontró un comportamiento lineal de absorción de S, la cual aumentó antes del final de la etapa de floración, ocurrida a los 71 DDS [15].





AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Maíz de la EETP del INIAP, por facilitar los materiales genéticos sujetos de éste estudio y al Comité Organizador y Científico de la XXII Reunión Latinoamericana de Maíz, donde se presentó un resumen del presente trabajo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Manuel C. y Wuellins D. concibieron la investigación; Jessica C. y Betty R. desarrollaron la metodología y realizaron el trabajo de laboratorio; Fátima M. desarrolló el trabajo de campo, con el apoyo de Manuel C. y Wuellins D. Manuel C. diseñó el modelo y Wuellins D. realizó el análisis estadístico. Manuel C. y Wuellins D. redactaron el manuscrito. Los otros autores indicados revisaron críticamente el contenido intelectual y realizaron aportes al mismo.

REFERENCIAS

[1] ESPAC. (2016). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. Recuperado de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2016/Informe%20ejecutivo%20ESPAC_2016.pdf.

[2] Bertsch, F. (2003). *Absorción de nutrimentos por los cultivos*. ACCS. San José. Costa Rica. 307 p.

[3] Sancho, H. (1999). Curvas de absorción de nutrientes: Inportancia y uso en los programas de fertilización. *Informaciones Agronómicas* 36: 11-13.

[4] Martínez Gamiño, M. A., Jasso Chaverria, C., Osuna Ceja, E. S., Reyes Muro, L., Huerta Díaz, J. & Figueroa Sandoval, B. (2014). Efecto del fertirriego y labranza de conservación en propiedades del suelo y el rendimiento de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(6), 937-949.

[5] INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Ecuador). (2014). *Informe Técnico Anual 2014, Programa de Maíz. Estación Experimental Tropical Pichilingue*. Mocache, Los Ríos, Ecuador. p. 4-8.

[6] INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Ecuador). (2016). Datos registrados en la Estación Experimental Tropical Pichilingue.

[7] Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M. & Robledo, C.W. (2016). Infostat. Grupo InfoStat, FCA (programa informático). Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba.

[8] Henríquez, C., Bertsch, F. & Salas, R. (1998). La fertilidad de los suelos: Manual de laboratório. San José, CR. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 64p.

[9] Remache, M., Carrillo, M., Mora, R., Durango, W. & Morales, F. (2017). Absorción de macronutrientes y eficiencia del N, en híbrido promisorio de maíz. Patricia Pilar, Ecuador. *Agronomía Costarricense*, 41(2), 103-115.

[10] Fallas, R., Bertsch, F., Echandi, C. & Henríquez, C. (2011). Caracterización del desarrollo y absorción de nutrimentos del Híbrido de maíz HC-57. *Agronomía Costarricense*, 35 (2), 33-47.

[11] Delgado, R. (2002). Evaluación del crecimiento del maíz y absorción de N bajo diversas condiciones de disponibilidad del elemento en un Mollisol de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 52(1), 5-22.

[12] Bender, R.R., Haegele, J.W., Ruffo, M.L. & Below, F.E. (2013). Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy Journal*, 105(1), 161-170.

[13] Coelho, A.M. (2008). *Nutrição e adubação do milho*. En: J. C. Cruz, D. Karam, M. a. R. Monteiro & P. C. Magalhaes (Eds.), *A cultura do milho*. (pp.131-157). Sete Lagoas, MG, Brasil. EMBRAPA Milho e Sorgo.

[14] Duarte, A.P., Kiehl, J.C., Camargo, M.A.F. & Reco, P.C. (2003). Acumulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperado. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo,* 2(3), 1-20.

[15] Von Pinho, RG., Borges, I.D., Pereira, J.L.A.R. & Reis, M.C. (2009). Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 8(2), 157-173.

[16] Ciampitti, I.A., Boxler, M. & García, F.O. (2010). Nutrición de maíz: Requerimientos y absorción de nutrientes. *Informaciones Agronómicas,* 48, 14-18.